

Rev. prod. anim., 18 (2): 103-109, 2006

Desarrollo de un sistema actualizado para los requerimientos nutricionales del vacuno. I. Crecimiento y composición corporal

J. R. Stuart

Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba

jstuart@ica.co.cu

RESUMEN

Se presenta un sistema actualizado para los requerimientos nutricionales del vacuno, correspondiente al crecimiento y la composición corporal, fundamentado en la curva de Gompertz para la descripción del crecimiento, y en un modelo cuadrático para la estimación del contenido de grasa. Se demostró que el modelo cuadrático es equivalente a los modelos alométricos para la estimación de la composición corporal de los animales. El sistema desarrollado permite obtener informaciones de valor para el manejo de la alimentación eficiente de los animales en engorda, bajo diferentes intensidades de explotación.

Palabras clave: *vacuno, requerimientos nutricionales, crecimiento, modelación*

ABSTRACT

An updated system for dairy cattle nutritional requirements related to body growth and build is discussed. This system is based on Gompertz curve for body growth and on a square model for body fat content appraisal. It is proved that the square model is equivalent to the allometric models for body build estimate. Thanks to this system, a number of valuable data for an efficient feeding management of fattening dairy cattle under different handling conditions can be obtained.

Key words: *cattle, nutritional requirements, growth, modeling*

INTRODUCCIÓN

Las exigencias actuales del mercado en cuanto a la calidad de los productos pecuarios, unido al incremento de los precios de los fertilizantes, los piensos y otras materias primas utilizadas en la alimentación del ganado, establecen la necesidad de disponer de sistemas de requerimientos nutricionales para el vacuno cada vez más eficientes (Ritchie, 2000).

En correspondencia con esa problemática mundial, los sistemas se someten a constante actualización (NRC, 2000), o surgen otros nuevos (Williams y Jenkins, 2003, a, b y c), apoyados fuertemente en la modelación de los procesos biológicos relacionados (Hoch y Agabriel, 2000; Stuart, 2002).

En Cuba, aunque se han obtenido resultados interesantes (Martín, 1996), los sistemas de requerimientos más utilizados (García-Trujillo y Pedroso, 1989) tienen su origen en conceptos desarrollados hace ya más de 30 años (INRA, 1978). Luego, es evidente la necesidad de su actualización.

Este artículo, dedicado al crecimiento y la composición corporal, es el primero de una serie en la que se describe un sistema de requerimientos para el vacuno, aplicables en condiciones tropicales, incluida su validación. En él se ha tratado de mantener la sencillez de los antiguos sistemas y, al mismo tiempo, se han introducido o al menos se ha tratado de no entrar en contradicción con los conceptos más novedosos en este campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

I. Descripción del sistema

El crecimiento y desarrollo en el sistema está descrito mediante dos modelos en estrecha relación: uno dedicado al crecimiento; el otro, al contenido de grasa en función del peso vivo, como primer paso para determinar la composición corporal de los animales.

1. La curva de Gompertz como modelo del crecimiento

Se seleccionó como modelo del crecimiento el descrito por la curva de Gompertz (Belhard, 1997) de naturaleza sigmoideal, la cual se ajusta al crecimiento del vacuno (INRA, 1989; Tedeschi *et al.*, 2000). Algunas fórmulas, derivaciones de interés de la ecuación de Gompertz (Belhard 1997;

Archer *et al.*, 1998; Arango y Van Vleck, 2002) se muestran en la tabla 1. Esas fórmulas son de utilidad en las distintas operaciones de cálculo que se deben realizar durante el manejo del sistema de requerimientos.

2. Relación entre el contenido de grasa y el peso vivo vacío

Se adopta el modelo de Simpferdorfer (1974) que describe el contenido de grasa (G), en función del peso vivo mediante una ecuación cuadrática, de modo que su derivada, la variación del contenido de grasa por kilogramo de aumento del peso vivo vacío, es de tipo lineal:

$$G = AW^2 + BW + C,$$

donde A, B y C son constantes. Al igual que Rohr y Dænícke (1984) y el INRA (1989), se definen tres genotipos básicos, cada uno de ellos con una ecuación propia, definida además, para una determinada tasa de ganancia de peso vivo. Estos son: a) los novillos de razas precoces, como el Angus o el Hereford; b) los toros de maduración media, como el Holstein a los que se adicionan los mestizos de cebú y c) los de maduración tardía, ejemplificados por el Charolais o el Simmental. Las tasas de ganancia para las que se definen esas ecuaciones son 0,8; 1,0 y 1,2 kg/día, respectivamente. Estas ecuaciones se denominan ecuaciones estándar.

3. Tasa de deposición de proteína

Al tejido adiposo se le supone un 90 % de materia seca como grasa, mientras que la proteína representa el 22 % de la diferencia entre el peso vivo y el tejido adiposo (Owens *et al.*, 1995). De acuerdo con esas suposiciones, y conocida la tasa de deposición de grasa, la tasa de deposición de proteína se calcula como el resultado de multiplicar por 0,22 la diferencia entre la ganancia de peso vivo vacío y la ganancia de tejido adiposo, estimado a partir de la deposición de grasa, para lo cual se multiplica ésta por el factor 1.11 (igual a 1/0,9)

$$dP/dt = (dW/dt - (dG/dt * 1,11)) * 0,22$$

II. Estimación de la primera versión de los parámetros del modelo cuadrático para el contenido de grasa corporal, a partir de las ecuaciones alométricas

a) Novillos Hereford y toros Charolais

Para la estimación de los parámetros del modelo cuadrático en su primera versión, se tomaron como base las ecuaciones alométricas de Rohr y Dænícke (1984), que tienen la formulación general siguiente: $G = FW^n$, donde G es el contenido

de grasa corporal y W el peso vivo vacío, mientras que F y n son parámetros. A este fin, se siguieron las siguientes alternativas.

Alternativa No. 1 a partir del teorema del binomio

De acuerdo con el teorema del binomio (Shipavev, 1991) la expresión $(1-X)^n$ donde n es un exponente fraccionario y X tiene un valor absoluto inferior a la unidad, se puede desarrollar en forma de una serie de potencias convergentes, como sigue:

$$(1-X)^n = 1 - nX + n(n-1)X^2/2 - \dots + (n-r+1)/r!$$

donde la ecuación cuadrática, $1 - nX + n(n-1)X^2/2$, puede en ciertos casos ser una buena aproximación del resultado obtenido. Si el valor absoluto de X es igual o superior a la unidad, la serie anterior es divergente y no tiene resultado.

Por otra parte, sea $F \cdot W^n$, una función alométrica del peso vivo, W, de un animal, donde F es un determinado parámetro y n es un exponente fraccionario. Una forma de encontrar una ecuación cuadrática que describa el resultado que se obtiene con la función alométrica, consistiría en escribir la expresión W^n de la siguiente forma:

$$W^n = A^n (1 - (1-W/A))^n$$

donde A es un cierto número, el cual para que la función sea convergente, debe cumplir la condición: $A > (W_{\max})/2$.

Si se propone la siguiente equivalencia: $(1 - (1 - W/A))^n = X$,

luego de sustituir X por su equivalente en la ecuación cuadrática, y hacer las simplificaciones correspondientes, resultaría:

$$FW^n = F \cdot A^n [0,5(n-1)(n-2) + (n(2-n)(A-1)W + 0,5n(n-1)(A^{-2})W^2]$$

donde la ecuación anterior podría utilizarse para la obtención de una ecuación cuadrática, a partir de una determinada función alométrica, elevada a una potencia fraccionaria. El valor de A debe ser mayor que la mitad del peso vivo máximo.

Por las propias características del teorema del binomio, el ajuste de una ecuación cuadrática al modelo alométrico, según el procedimiento descrito anteriormente, empeora en las proximidades de ambos extremos del intervalo comprendido entre cero y 2 A. En la medida en que W_{\max} se acerque al valor de 2 A el ajuste mejora en el extremo superior, pero empeora en el inferior. Por tanto, la selección del valor que se tome para A dependerá del rango de pesos vivos en el cual se desee una mayor precisión en los estimados.

Tabla 1. Algunas fórmulas obtenidas mediante la manipulación de la ecuación de Gompertz

Fórmula No.	Indicador	Formulación	Observaciones.
1	Peso vivo ,W, a una determinada edad, t.	$W = W_m \cdot \exp -b^{-k \cdot t}$	Ecuación de Gompertz. W_m es el peso vivo a la madurez, mientras que b y k son parámetros de la ecuación.
2	Peso vivo a la pubertad, W_p	$W_p = W_m / e$	e es la base de los logaritmos neperianos.
3	Relación entre el parámetro b y el peso vivo del animal	$W_0 = W_m \cdot e^{-b}$ y de aquí: $B = \ln (W_m / W_0)$	W_0 es el peso vivo al inicio, cuando t = 0. El inicio puede ser a cualquier edad y peso vivo del animal.
4	Tasa de ganancia de peso vivo, a cualquier edad dW/dt	$dW/dt = W_m \cdot b \cdot k \cdot \exp (u)$ donde: $u = k \cdot t + b \cdot e^{-k \cdot t}$	
5	Tasa de ganancia máxima, dW/dt_{max}	$dW/dt_{max} = W_m \cdot k \cdot b \cdot \exp(\ln b + 1)$ y de aquí: $dW/dt_{max} = W_m \cdot k / e$	La tasa de ganancia máxima ocurre a la pubertad, cuando $k \cdot t = \ln b$
6	Relación entre la constante de maduración, k, el peso vivo y la tasa de crecimiento	$k = (\ln (W_m / W)) - 1 \cdot W^{-1} \cdot (dW/dt)$	
7	Relación entre la constante de maduración, k, y la tasa de crecimiento máxima.	$k = (1/W_p) \cdot dW/dt_{max}$	La constante de maduración es igual a la tasa específica de crecimiento a la pubertad.

Alternativa No. 2 a partir de ecuaciones de regresión

a) Novillos Hereford y toros Charolais

Para este propósito se simuló el contenido de grasa de los animales, según las ecuaciones alométricas de Rohr y Dænicke (1984), a intervalos de 30 días, entre 150 y 650 kg de peso vivo y se ajustaron ecuaciones cuadráticas mediante regresión al resultado obtenido.

b) Toros Holstein

La ecuación de Rohr y Dænicke (1984) para el toro Holstein, tiene la siguiente representación general: $G = bW^c \exp (\ln W)^2$. El ajuste al modelo cuadrático se realizó mediante regresión, tal como

se procedió con el novillo Hereford y el toro Charolais.

III. Simulación del comportamiento productivo de un toro Holstein que gana 1 kg de peso vivo/día en su etapa óptima de crecimiento

Se construyeron las curvas de simulación del peso a distintas edades y de ganancia de peso de un toro Holstein, el cual gana 1 kg de peso vivo por día, para lo cual se tuvieron en cuenta los datos que aparecen en la tabla 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el sistema propuesto, al igual que en el del INRA (1989), se ha seguido la alternativa de

Tabla 2. Información que se tuvo en cuenta para la construcción de las curvas del comportamiento productivo del toro Holstein, con una ganancia de 1 kg/día en su etapa óptima de crecimiento

Parámetro o criterio que se tuvo en cuenta	Valor	Fuente
Peso a la madurez, W_m (Se evaluó la ecuación cuadrática para $G = 0,36W$)	830,6	Owens <i>et al.</i> (1995)
Peso al nacimiento W_0	40 kg	INRA (1989)
Parámetro b	3,0332	Fórmula 3 tabla 1
Peso a la pubertad, W_p	305,5	Formula 2 tabla 1
Parámetro k	0,00336	Fórmula 7, tabla 1
Edad para comienzo ganancia óptima ($t_i = (\ln b - 0,3041)/k$)	240 d	Este trabajo
Peso para comienzo de ganancia óptima (se evalúa Gompertz para t_i)	214 kg	Este trabajo
Edad para final ganancia óptima ($t_f = (\ln b + 0,3385)/k$)	431 d	Este trabajo
Peso para comienzo de ganancia óptima (se evalúa Gompertz para t_{fi})	407 kg	Este trabajo

combinar un modelo del crecimiento con otro para el contenido de grasa corporal, como base para la estimación de los requerimientos energéticos y de otra índole. En cambio, otros autores han seguido un camino diferente. Así, el NRC (2000) utiliza como punto de partida el consumo de energía neta y, a partir del mismo, estima las deposiciones de grasa y proteína.

Recientemente se han presentado modelos en los que se parte de la deposición de proteína corporal y el crecimiento es el resultado de adicionar la grasa depositada, en dependencia del balance energético (Hoch y Agabriel, 2000; Williams y Jenkins, 2003 a, b y c). En otros modelos (Oltjen *et al.*, 2000) el nivel de desagregación se aumenta y se parte incluso del contenido de ácidos nucleicos del cuerpo del animal. Estas alternativas tienen, sin embargo, un desarrollo matemático más complejo. Los trabajos relacionados con el ADN tienen el interés teórico adicional de que sus resultados pueden ayudar en el esclarecimiento de los mecanismos que regulan los procesos del crecimiento.

La elección del modelo de Gompertz para el crecimiento se fundamenta en los resultados obtenidos en distintos estudios (Brown *et al.*, 1976; INRA 1989; Meyer, 1995; Archer *et al.*, 1998; Tedeschi *et al.*, 2000), los cuales indican que el mismo se ajusta al crecimiento del vacuno.

Algunos autores han señalado que el modelo de Gompertz tiene una tendencia a sobreestimar el peso vivo del animal a edades tempranas (Fithugh, 1976; López *et al.*, 2000) mientras que han encontrado además, elementos para proponer que el peso vivo en el punto de inflexión de la curva guarda una relación variable con respecto al peso adulto del animal, en lugar de una relación fija,

como establece el modelo de Gompertz (López *et al.*, 2000) y a partir de ese criterio se han formulado nuevos modelos (Menchaca, 1990; Menchaca *et al.*, 1996; López *et al.*, 2000).

Al respecto se debe insistir en que el modelo de Gompertz, al igual que otros, como el logístico o el de Richards (Brown *et al.*, 1976; López *et al.*, 2000; Tedeschi *et al.*, 2000) describen el crecimiento del animal en condiciones uniformes durante todo el tiempo. Sin embargo, en el caso del vacuno, las condiciones de alimentación y manejo introducen cambios en la tasa de crecimiento en determinados momentos de la vida del animal (Menchaca, 1990; López *et al.*, 2000). Sin embargo, el número de etapas por las cuales pasa la vida de un animal es variable y suele ser desconocida (López *et al.*, 2000; Tedeschi *et al.*, 2000).

Si se tienen en cuenta las observaciones de Owens *et al.* (1995) según las cuales el grado de desarrollo y el peso vivo adulto de un animal pueden estimarse a partir de su composición corporal y su tasa de crecimiento actual y, por otra parte, se observa que a partir de dichos parámetros se obtienen los elementos necesarios para formular la ecuación de Gompertz (Tabla 1) entonces, el tema no sería el diseño de nuevos modelos para describir el ciclo completo de la vida del animal, sino la utilización del de Gompertz para estimar el comportamiento futuro del crecimiento, a partir de las características concretas del animal en un momento dado, ideas que, desde luego, necesitan ser confirmadas experimentalmente.

En la tabla 3 se muestran los parámetros obtenidos para las ecuaciones cuadráticas correspondientes a los tres genotipos básicos considerados en el sistema. Las ecuaciones generadas mediante la aplicación del teorema del binomio, para el no-

Tabla 3. Ecuaciones cuadráticas para la estimación del contenido de grasa corporal y el peso vivo, obtenidas mediante el teorema del binomio, o por regresión

Genotipo	A x10 ⁻⁴		B		C		Regr.	
	Regr.	Binomio	Regr.	Binomio	Regr.	Binomio	R ²	ES _{EST.}
Charolais	1,2 (±.023)	1,2	0,074 (±.0023)	0,074	-4,22 (±.34)	-4,68	.999	.170
Hereford	4,3 (±.034)	4,3	0,073 (±.0028)	0,074	-5,34 (±.51)	-5,88	.999	.253
Holstein	4,6 (±.068)	-	-0,030 (±.0055)	-	4,6 (± 1,00)	-	.999	.497

Nota: Las siglas A, B y C corresponden a los parámetros de la ecuación cuadrática del tipo: $G = A*W^2 + B*W + C$, donde G es el contenido de grasa corporal y W es el peso de cuerpo vacío, ambos en kg. Regr: valor de los parámetros estimados mediante la regresión. R²: Coeficiente de determinación de las regresiones. ES_{EST} error estándar de una estimación.

villos Hereford y el toro Charolais, se obtuvieron con el uso de un valor de "A" igual a $W_m/1,8$, donde W_m es 650 kg. La ecuación de Rohr y Dænícke (1984) para el Holstein es más compleja y por ello se utilizó solamente la regresión.

El grado de ajuste alcanzado con las ecuaciones cuadráticas de la tabla 3, es lo suficientemente bueno como para proponer su uso, en lugar de las ecuaciones elevadas a una potencia fraccionaria (Rohr y Dænícke, 1984), más difíciles de manejar. De hecho el modelo cuadrático ha sido considerado como una alternativa al modelo alométrico para la descripción y estudio de las relaciones entre el contenido de grasa y el peso vivo del animal (NRC, 2000). Sin embargo, aparentemente se trata del mismo enfoque teórico y la diferencia entre ambos modelos descansa solamente en el formalismo matemático. El tema del contenido y la deposición de grasa a ganancias de peso vivo diferentes de la estándar, será tratado en otra publicación de esta serie.

En las proximidades del punto de inflexión, la concavidad de la curva que describe la tasa de crecimiento es lo suficientemente pequeña como para considerarse como una recta de pendiente nula y, por tanto, como una tasa de crecimiento constante (Fithugh, 1976). Resulta de interés práctico el conocimiento del comienzo y final del segmento de la curva correspondiente a la región de crecimiento constante, los cuales dependerán del grado de desviación que se esté dispuesto a admitir, con respecto a la tasa de ganancia a la pubertad. Si se acepta para la tasa de ganancia en los extremos de dicho segmento un valor equivalente al 95 % del máximo a la pubertad, el valor medio de la tasa de ganancia será aproximadamente el 97,5 % del valor máximo. No será exactamente del 97,5 % debido a que el punto que representa la pubertad es ligeramente simétrico, respecto a los extremos del segmento de crecimiento constante. De acuerdo con las fórmulas No. 4 y 5 de la tabla 1, lo anterior se representa como sigue:

$$(W_m b k \exp -(kt + be^{-kt})) / (W_m b k \exp -(\ln b + 1)) = 0,95$$

donde t es la edad del animal a

cualquiera de los puntos extremos del segmento de la curva que representa la tasa de ganancia de peso. Luego de efectuar, resulta:

$$\exp ((\ln b + 1 - kt + be^{-kt})) = 0,95 \text{ y finalmente:}$$

$$\ln b + 1 - kt + be^{-kt} = \ln 0,95$$

Si el producto kt en el extremo del segmento que representa la edad más temprana se expresa como $kt = \ln b - S_2$, donde S_2 es un parámetro de uso transitorio cuyo valor se debe determinar, entonces se tiene, luego de simplificar:

$$1 + S_2 - \exp (S_2) = \ln 0,95, S_2 = 0,3041$$

La edad del animal, t_2 en el extremo izquierdo del segmento (edad inferior), sería:

$$t_2 = (\ln b - S_2)/k; t_2 = (\ln b - 0,3041)/k$$

De la misma manera se realizaría el cálculo para el extremo del segmento que representa la edad más avanzada:

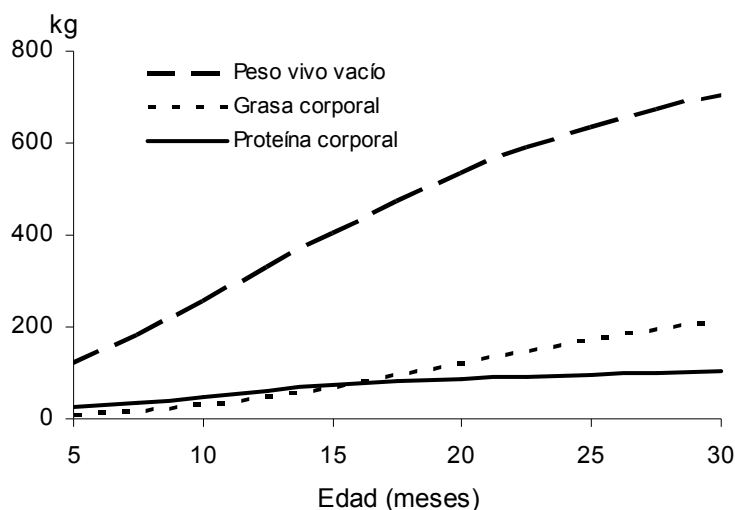
$$Kt = \ln b + S_3$$

Donde S_3 es también un parámetro de uso transitorio a evaluar. Finalmente:

$$1 - S_3 - \exp (-S_3) = \ln 0,95, S_3 = 0,3384, t_3 = (\ln b + 0,3384)/k$$

En la figura 1 se muestra la simulación del peso vivo, así como de los contenidos de grasa y proteína de un toro Holstein, que gana 1 kg de peso vivo/día en la etapa óptima de su crecimiento, mientras que en la figura 2 aparecen las tasas de ganancia diaria de componentes corporales, para lo cual se han integrado todos los elementos expuestos en este trabajo.

Fig. 1. Simulación del efecto de la edad en el peso vivo vacío y en los contenidos corporales de grasa y proteína. Toro Holstein, con una ganancia diaria de peso vivo vacío de un kg/d durante el periodo de óptimo crecimiento



Las curvas del crecimiento que se muestran en las figuras 1 y 2 ilustran el comportamiento productivo de los animales y son de ayuda para obtener o inferir algunas conclusiones importantes.

Por ejemplo, puede verse que en el caso analizado, la tasa diaria de deposición de proteína corporal alcanza su máximo hacia los siete meses de vida del animal, de modo que el aporte de proteína para el crecimiento debe ser máximo, lo cual no siempre se cumple. Eso explicaría las causas de un pobre comportamiento productivo a esa edad en ciertos sistemas de manejo y alimentación del vacuno (Menchaca, 1990) y con ello, se crean las condiciones necesarias para detectar y solucionar el problema.

Los sistemas modernos de alimentación intensiva están concebidos en dos etapas, una de crecimiento, con tasas de ganancia restringidas (Schoonmaker *et al.*, 2002; Hersom *et al.*, 2004; Sainz y Vernazza-Paganini, 2004) durante la cual los animales mantienen su tasa de acumulación de proteína y restringen la acumulación de grasa, con el objetivo de aumentar el peso vivo a la madurez y lograr una canal más magra al peso óptimo de sacrificio (Owens *et al.*, 1995; Purchas *et al.*, 2002).

El sistema propuesto permite establecer de una manera objetiva los momentos de la etapa de crecimiento intensivo, lo cual es una de las metas de la ganadería de carne (Bruns *et al.*, 2004; Hersom *et al.*, 2004).

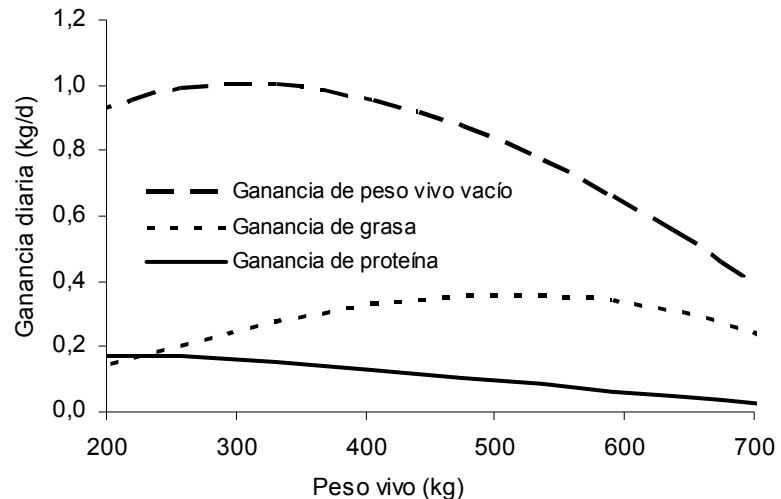
CONCLUSIONES

El sistema propuesto, basado en el modelo de Gompertz y en una ecuación cuadrática para la estimación del contenido de grasa corporal, permite obtener informaciones de valor para el manejo de la alimentación eficiente de los bovinos en engorda bajo diferentes intensidades de explotación.

REFERENCIAS

- ARANGO, J. A. Y D. L. VAN VLECK: Size of Beef Cows: Early Ideas, New Developments, *Genet. Mo. Res.*, 1: 63, 2002.
- ARCHER, J. A.; R. M. HERD, P. F. ARTHUR Y P. F. PARNELL: Correlated Responses in Rate of Matu-

Fig. 2. Simulación del efecto del peso vivo vacío en las tasas de ganancia diaria de peso, grasa y proteína. Toro Holstein con una ganancia de peso vivo vacío de 1 kg/d durante el período óptimo



ration and Mature Size of Cows and Steers to Divergent Selection for Yearling Growth Rate in Angus Cattle, *Livest. Prod. Sci.*, 54: 183, 1998.

BELHARD, G. L.: A Microcomputer Simulation to Evaluate Management Strategies for Rearing Dairy Replacements, PhD. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1997.

BROWN, J. E.; H. A. FITZHUGH Jr. Y T. C. CARTWRIGHT: A Comparison of Nonlinear Models for Describing Weight-Age Relationships in Cattle, *J. Anim. Sci.*, 42: 810, 1976.

BRUNS, K. W.; R. H. PRITCHARD Y D. L. BOGGS: The Relationships Among Body Weight Composition and Intramuscular Fat Content in Steers, *J. Anim. Sci.*, 82: 1315, 2004.

FITHUGH, H. A.: Analysis of Growth Curves and Strategies for Altering their Shape, *J. Anim. Sci.*, 42: 1036, 1976.

GARCÍA-TRUJILLO, R. Y D. M. PEDROSO: *Alimentos para rumiantes. Tablas de valor nutritivo*, Ediciones EDICA, La Habana, Cuba, 1989.

HERSOM, M. J.; M. J. HORN, G. W. KREHBIEL Y W. A. PHILLIPS: Effect of Live Weight Gain of Steers during Winter Grazing. 1. Feedlot Performance, Carcass Characteristics and Body Composition of Beef Steers, *J. Anim. Sci.*, 82: 262, 2004.

HOCH, T. Y J. A. GABRIEL: A Mechanistic Dynamic Model of Beef Cattle Growth. In *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*, J. P. McNamara, J. France y D. F. Beever (eds.), pp. 227-240, CABI Publishing, CAB International, Wallingford, 2000.

- INRA: Ruminant Nutrition, Recommended Allowances and Feed Tables, Eurotex, London, 1989.
- INRA. Alimentation Des Ruminants, Edic. INRA Publications, Route de Saint-Cyr78000, Versailles, 1978.
- LÓPEZ, S.; J. FRANCE, W.J.J. GERRITS, M. S. DHANOA, D. J. HUMPHRIES Y J. A. DIJKSTRA: A Generalized Michaelis-Menten Equation for the Analysis of Growth, *J. Anim. Sci.*, 78: 1816, 2000.
- MARTIN, P. C.: Una nota sobre los requerimientos de energía para el crecimiento-ceba del ganado cebú, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 30: 159, 1996.
- MENCHACA, M. A.: The Use of Stage Models for Describing Animal Growth Curves, *Cuban J. Agric. Sci.*, 24: 31, 1990.
- MENCHACA, M. A.; C. C. CHASE, T. A. OLSON Y A. C. HAMMOND: Evaluation of Growth Curves of Brahman Cattle of Various Frame Sizes, *J. Anim. Sci.*, 74: 2140, 1996.
- MEYER, K.: Estimates of Genetic Parameters for Mature Weight of Australian Beef Cows and its Relationship to Early Growth and Skeletal Measures, *Livest. Prod. Sci.*, 44: 125, 1995.
- NRC: Nutrient Requirements of Beef Cattle, seventh revised edition, updated 2000, National Academy of Sciences, 2000.
- OLTJEN, J. W.; A. B. PLEASANTS, T. K. SBOLEVA Y V. H. ODDY: Second-Generation Dynamic Cattle Growth and Composition Models, in *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*, J. P. McNamara, J. France y D. F. Beever (eds.), pp. 197-210, CABI Publishing, CAB International, Wallingford, 2000.
- OWENS, F. N.; D. R. GILL, D. S. SECRIST Y S. W. COLEMAN: Review of Some Aspects of Growth and Development of Feedlot Cattle, *J. Anim. Sci.*, 73: 3152, 1995.
- PURCHAS, R. W.; D. L. BURNHAM Y S. T. MORRIS: Effects of Growth Potential and Growth Path on Tenderness of Beef *Longissimus* Muscle from Bulls and Steers, *J. Anim. Sci.*, 80: 3211, 2002.
- RITCHIE, H.: Why is Efficiency so Important to the Beef Industry?, Limousin Focus 2000 Symposium, Stillwater, Oklahoma, 2000.
- ROHR, K. Y R. DÆNICKE: Nutritional Effects on the Distribution on the Live Weight as Gastrointestinal Tract Fill and Tissue Components of Growing Cattle, *J. Anim. Sci.*, 58: 753, 1984.
- SAINZ, R. D. Y R. F. VERNAZZA-PAGANINI: Effect of Different Grazing and Feeding Periods on Performance and Carcass Traits of Beef Steers, *J. Anim. Sci.*, 82: 292, 2004.
- SCHOONMAKER, P. J.; S. C. LOERCH, F. L. FLUHARTY, H. N. ZERBY Y T. B. TURNER: Effect of Age at Feedlot Entry on Performance and Carcass Characteristics of Bulls and Steers, *J. Anim. Sci.*, 80 2247, 2002.
- SHIPAVEV, V.: Fundamentos de las matemáticas superiores, Ed. Mir, Moscú, pp. 424, 1991.
- SIMPFERDORFER, S.: Relationship of Body Type, Size, Sex, and Energy Intake to the Body Composition of Cattle, PhD. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, 1974.
- STUART, J. R.: La modelación en los sistemas modernos de requerimientos para el rumiante: Una perspectiva de trabajo promisorio, (conferencia), NUTRIFIS, 1er. Seminario Internacional de Nutrición y Fisiología Digestiva de los Animales de Granja, Instituto de Ciencia Animal, Cuba, 2002.
- TEDESCHI, L. O.; C. BOIN, R. F. NARDON Y P. R. LEME: Estudo da curva de crescimento de animais da raça Guzerá a seus cruzamentos alimentados a pasto, come sem suplementação 1. Análise e seleção das funções não lineares, *Re. Bras Zootec*, 29: 630, 2000.
- WILLIAMS, B. Y T. G. JENKINS: A Dynamic Model of Metabolizable Energy Utilization in Growing and Mature Cattle. I. Metabolizable Energy Utilization for Maintenance and Support Metabolism, *J. Anim. Sci.*, 81: 1371, 2003a.
- WILLIAMS, B. Y T. G. JENKINS: A Dynamic Model of Metabolizable Energy Utilization in Growing and Mature Cattle. II. Metabolizable Energy Utilization for Gain, *J. Anim. Sci.*, 81: 1382, 2003b.
- WILLIAMS, B. Y T. G. JENKINS: A Dynamic Model of Metabolizable Energy Utilization in Growing and Mature Cattle. III. Model Evaluation, *J. Anim. Sci.* 81: 1387, 2003c.

Recibido: 10/11/2005

Aceptado: 3/2/2006